

PEMANFAATAN ENERGI PANAS PENGEMBUNAN PADA DISTILASI AIR ENERGI MATAHARI JENIS KAIN

UTILIZATION OF CONDENSING HEAT IN WICK TYPE SOLAR WATER DISTILLATION

FA. Rusdi Sambada^{1*}

^{1*}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma

^{1*}rusdisambada@yahoo.co.id

*penulis korespondensi

Abstrak

Distilasi air energi matahari merupakan cara menghasilkan air layak minum dari air yang terkontaminasi. Masalah utama distilasi air energi matahari adalah rendahnya efisiensi. Pemanfaatan energi panas pengembunan adalah salah satu cara meningkatkan efisiensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemanfaatan panas pengembunan untuk memanaskan air masukan distilasi terhadap efisiensi. Air masukkan dialirkan diantara kaca penutup dan kaca kedua sehingga air masukan dapat mengambil panas pengembunan melalui kaca penutup. Penelitian dilakukan dengan membuat model distilasi air energi matahari jenis absorber kain seluas 0,49 m² yakni model tanpa pemanfaatan panas pengembunan sebagai pembanding dan model dengan pemanfaatan panas pengembunan. Variabel yang divariasikan pada penelitian ini adalah laju aliran massa air masukkan kaca sebanyak tiga variasi yakni 1 liter/jam, 2 liter/ jam dan 4 liter/jam dan lebar kaca kedua sebanyak tiga variasi yakni 3cm, 6cm dan 10 cm. Variabel yang diukur adalah temperatur air (T_w), temperatur kaca penutup (T_c), temperatur udara sekitar (T_a), jumlah massa air distilasi yang dihasilkan (m_D) dan energi matahari yang datang (I). Hasil penelitian menunjukkan hasil terbaik diperoleh pada variasi lebar kaca kedua sebesar 6 cm dengan laju aliran air sebesar 1 liter/jam. Hasil terbaik yang diperoleh pada variasi tersebut adalah air distilasi sebanyak 4,2 liter/m².hari dengan efisiensi 65,8%

Kata kunci : distilasi air, energi matahari, pemanfaatan panas pengembunan, efisiensi

Abstract

Solar water distillation is a way to produce potable water from contaminated water. The main problem with solar distillation is low efficiency. Utilization of condensing heat energy is one way to increase efficiency. This study aims to analyze the effect of the use of condensing heat on efficiency. Entered water flows between the glass cover and the second glass so that the input water can take condensation heat through the glass cover. The study conducted by making a model of solar distillation with an area of 0.49 m², i.e. a model without and with the utilization of condensing heat. The variables varied are the mass flow rate of water entering the glass, i.e. 1 litre/hour, 2 litres/hour and 4 litres/hour and the second glass width, i.e. 3cm, 6cm and 10cm. The measured variables are water temperature (T_w), cover glass temperature (T_c), ambient air temperature (T_a), the mass of distilled water produced (m_D) and incoming solar energy (I). The results showed the best results were on a second glass width variation of 6 cm with a water flow rate of 1 litre/hour. The best results obtained for these variations are distillation water of 4.2 litres/m².day with an efficiency of 65.8%.

Keywords: water distillation, solar energy, utilization of condensing heat, efficiency

1. PENDAHULUAN

Dua per tiga luas wilayahnya merupakan lautan, kenyataannya masih banyak tempat yang mengalami kekurangan air bersih [1]. Sebagian besar masyarakat Indonesia yang hidup di pantai, dan pulau-pulau kecil mendapatkan air bersih dengan menampung air hujan [2]. Cara lain adalah

memurnikan air laut dengan metode reverse osmosis [3]. Persoalan utama cara penampungan air hujan adalah ketika musim kemarau, air bersih yang diperoleh sangat sedikit [4]. Selain itu kualitas air hujan kurang memadai sebagai air bersih [5]. Pengolahan air laut menggunakan teknologi reverse osmosis memerlukan biaya investasi awal dan biaya operasi yang cukup besar [6]

Cara sederhana untuk mendapatkan air bersih dari air laut atau air terkontaminasi adalah destilasi air energi matahari. Destilasi air energi surya tidak memerlukan biaya tinggi dalam pembuatan serta pengoperasiannya [7]. Indonesia mempunyai potensi energi surya cukup baik dengan radiasi harian energi surya rata-rata sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ [8]. Masalah utama destilasi air energi matahari adalah masih rendahnya efisiensi. Pemanfaatan energi panas pengembunan adalah salah satu cara meningkatkan efisiensi destilasi air energi matahari [9]. Pemanfaatan panas pengembunan pada penelitian ini dilakukan untuk memanaskan air masukan destilasi. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pemanfaatan panas pengembunan terhadap efisiensi destilasi air energi matahari jenis absorber kain. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh pemanfaatan panas pengembunan untuk memanaskan air masukan terhadap unjuk kerja destilasi air energi matahari jenis absorber kain. Penelitian dilakukan secara eksperimen di lapangan dan simulasi.

2. LANDASAN TEORI

Penelitian destilasi jenis absorber kain dengan pemanfaatan panas pengembunan dua tingkat penguapan memanfaatkan energi panas pengembunan untuk menguapkan air yang mengalir pada tingkat penguapan kedua [10]. Penelitian tersebut melakukan analisis termal untuk mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh. Penelitian dengan simulasi dan eksperimen destilasi jenis absorber kain dengan pemanfaatan panas pengembunan dua tingkat penguapan menghasilkan air destilasi maksimum $0,406 \text{ liter/(m}^2\cdot\text{jam)}$ pada intensitas matahari 547 W/m^2 . Hasil pada tingkat penguapan pertama adalah $0,151 \text{ liter/(m}^2\cdot\text{jam)}$ dan tingkat penguapan kedua $0,255 \text{ liter/(m}^2\cdot\text{jam)}$. Efisiensi yang lebih baik diperoleh dengan mengalirkan udara pada tingkat penguapan kedua pada laju aliran udara yang optimal [11, 12].

Pemanfaatan panas pengembunan pada jenis absorber kain pada penelitian-penelitian tersebut dilakukan menggunakan dua kaca penutup. Air yang mengalir di absorber kain akan menguap karena mendapat energi matahari. Uap air akan mengembun di kaca penutup pertama. Di sisi atas kaca penutup pertama terdapat air yang mengalir dari atas ke bawah. Uap air yang mengembun melepaskan energi panas pengembunan ke air yang mengalir pada kaca penutup pertama sehingga air menguap dan mengembun pada kaca penutup kedua. Selain untuk pemanfaatan panas pengembunan, air yang mengalir pada kaca penutup pertama berfungsi sebagai pendingin kaca sehingga pengembunan pada kaca penutup pertama lebih baik. Air yang menguap pada absorber kain disebut penguapan tingkat pertama dan pada kaca penutup pertama disebut penguapan tingkat kedua. Dari studi analisis sederhana pemanfaatan panas pengembunan mendapatkan jumlah optimum tingkat penguapan adalah tiga. Tingkat penguapan yang lebih dari tiga tidak memberikan hasil yang berarti [13]. Uap air dari penguapan tingkat kedua (terakhir) akan mengembun pada kaca penutup kedua. Energi panas pengembunan pada kaca penutup kedua tidak dapat dimanfaatkan dan dibuang ke lingkungan.

Analisa termal pada destilasi jenis absorber kain dengan pemanfaatan panas pengembunan dua tingkat penguapan menunjukkan pengaruh yang signifikan dari jumlah dan laju aliran massa air pada kaca penutup terhadap efisiensi. Semakin besar jumlah dan laju aliran massa air semakin rendah efisiensi [10]. Penelitian tersebut menunjukkan jumlah dan laju aliran massa air pada kaca penutup merupakan variabel yang berpengaruh pada unjuk kerja destilasi. Pemodelan dan simulasi pendinginan (tanpa pemanfaatan panas pengembunan) destilasi jenis bak menggunakan kaca ganda

menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan destilasi tanpa pendinginan. Peningkatan efisiensi yang diperoleh antara 28-33% [14]. Penelitian simulasi efek pendinginan (tanpa pemanfaatan panas pengembunan) destilasi jenis bak menunjukkan adanya kondisi optimal kombinasi tebal lapisan film dan laju alir massa air pendingin yang dapat meningkatkan efisiensi sebesar 6% dibandingkan tanpa pendinginan. Selain kombinasi optimal tersebut peningkatan efisiensi akan lebih kecil bahkan dapat lebih rendah dari efisiensi tanpa pendinginan [15]. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari laju alir massa dan jumlah air di kaca. Penelitian eksperimen destilasi jenis absorber kain tanpa pemanfaatan panas pengembunan menghasilkan air destilasi maksimum 0,4 liter/ (m².jam). Air masukan diletakkan dalam destilasi dengan pengapung di bagian ujungnya sehingga laju massa air pada absorber dapat dijaga kecil. Efisiensi maksimum mencapai 71% [16]. Dari penelitian-penelitian tersebut dapat diketahui laju massa air merupakan variabel-variabel lain yang berpengaruh. Penelitian eksperimen destilasi jenis absorber kain tanpa pemanfaatan panas pengembunan menunjukkan bahwa penggunaan kain dapat meningkatkan efisiensi dengan signifikan dibandingkan tanpa kain [17].

Unjuk kerja distilasi sangat ditentukan oleh seberapa besar energi yang dapat digunakan untuk penguapan air. Besar energi ini dapat dihitung dengan persamaan

$$q_e = 16,273 \times 10^{-3} \cdot h_c \cdot (P_w - P_g) \quad (1)$$

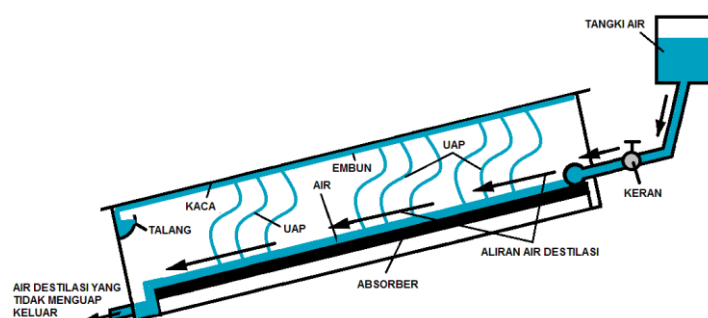
dengan P_w adalah tekanan parsial uap pada temperatur air (Pa) dan P_g adalah tekanan parsial uap pada temperatur kaca (Pa). Efisiensi distilasi air energi matahari adalah perbandingan antara energi matahari yang dimanfaatkan untuk proses penguapan dengan energi matahari yang diterima:

$$\eta = \frac{q_e}{I(t)} \quad (2)$$

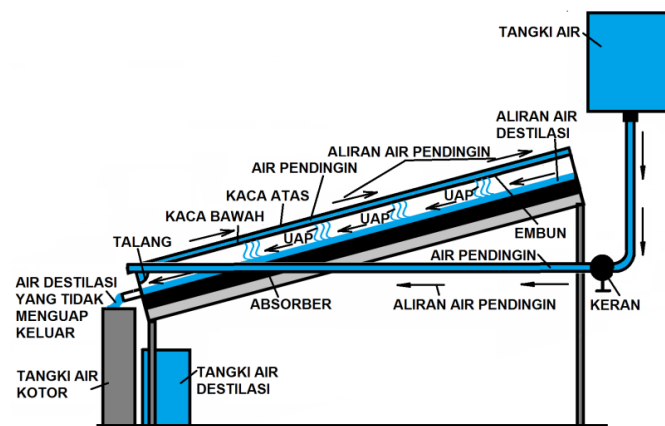
dengan q_e adalah energi matahari yang dimanfaatkan untuk proses penguapan (W/m²) dan $I(t)$ adalah energi matahari yang diterima alat distilasi (W/m²).

3. METODE PENELITIAN

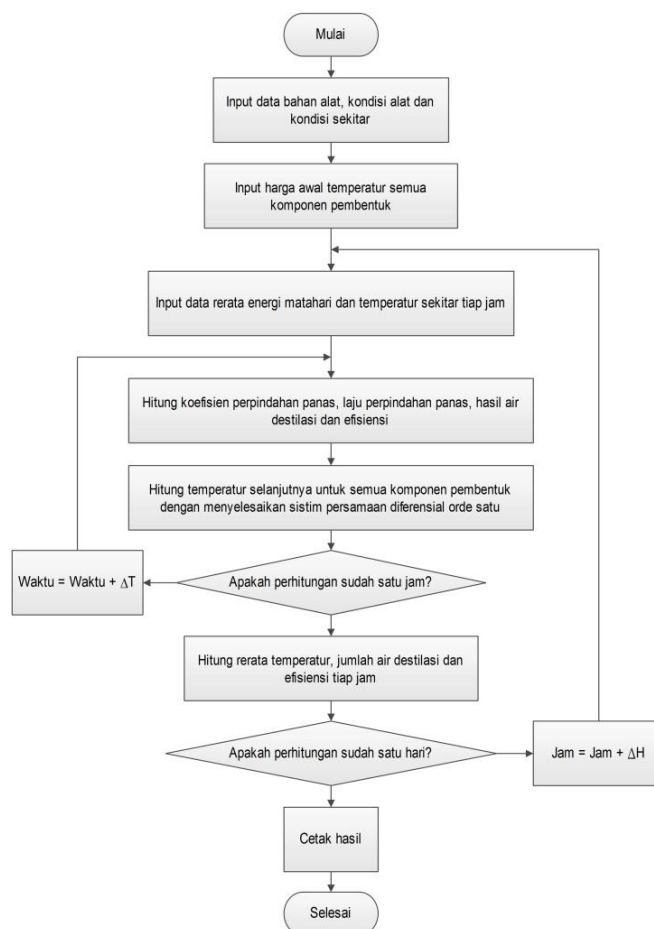
Penelitian secara eksperimen dilakukan dengan membuat model distilasi air energi matahari jenis absorber kain. Penelitian dilakukan di Yogyakarta pada bulan Juni sampai Juli 2019. Model distilasi air energi matahari jenis absorber kain pada penelitian ini terdiri dari 2 (dua) konfigurasi yakni (1) model distilasi air energi matahari jenis absorber kain tanpa pemanfaatan panas pengembunan (Gambar 1) dan (2) model distilasi air energi matahari jenis absorber kain dengan pemanfaatan panas pengembunan (Gambar 2)



Gambar 1. Model distilasi air energi matahari tanpa pemanfaatan panas pengembunan



Gambar 2. Model distilasi air energi matahari dengan pemanfaatan panas pengembunan



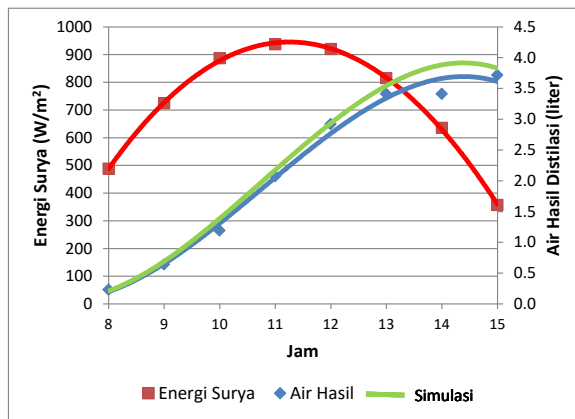
Gambar 3. Diagram alir simulasi unjuk kerja distilasi air energi matahari jenis absorber kain

Pada model distilasi air energi matahari jenis absorber kain tanpa pemanfaatan panas pengembunan, air masukkan bersumber dari tangki air yang langsung dialirkan ke absorber, sedangkan pada model distilasi air energi matahari jenis absorber kain dengan pemanfaatan panas pengembunan air masukkan bersumber dari tangki air yang dialirkan ke kaca penutup (kaca bawah) sebelum dialirkan ke absorber. Model distilasi air energi matahari jenis absorber kain tanpa pemanfaatan pemanfaatan panas pengembunan digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui peningkatan unjuk kerja distilasi air energi matahari absorber kain dengan pemanfaatan panas

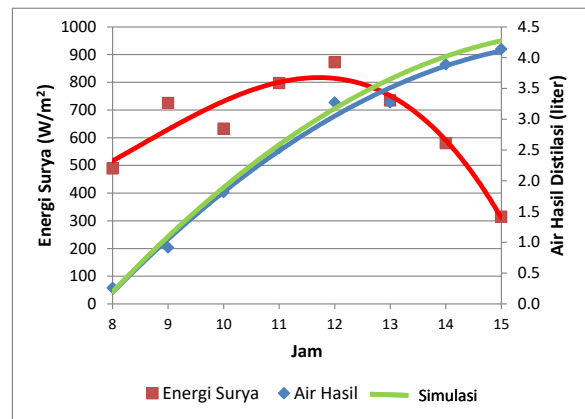
pengembunan. Pada model distilasi air energi matahari jenis absorber kain yang dibuat, keran berfungsi untuk mengatur laju aliran massa air pada absorber kain. Selain secara eksperimen, pada penelitian ini juga dilakukan simulasi. Simulasi didasarkan pada kesetimbangan energi yang terjadi pada absorber, kaca penutup, air pendingin dan kaca atas. Secara rinci langkah penelitian secara simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Variabel yang divariasikan dalam penelitian ini adalah laju aliran massa air pada kaca sebanyak 3 (tiga) variasi yakni 1 liter/jam, 2 liter/ jam dan 4 liter/jam serta jumlah massa air pendingin, variabel ini divariasikan dengan mevariasikan lebar kaca atas yakni 3cm, 6cm dan 10 cm. Variabel yang diukur adalah: (1) temperatur air (T_w), (2) temperatur kaca penutup (T_c), (3) temperatur udara sekitar (T_a), (4) kelembaban udara sekitar (RH_a), (5) kecepatan angin (V_a), (6) jumlah massa air distilasi yang dihasilkan (m_D), (7) energi matahari yang datang ($I(t)$) dan (8) lama waktu pencatatan data (t).

4. PEMBAHASAN

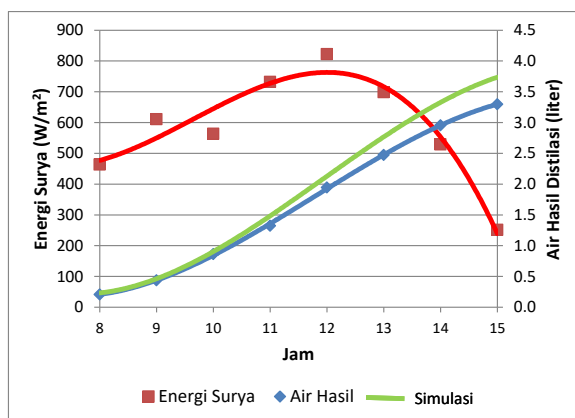
Hasil air distilasi tiap variasi lebar kaca atas dan laju aliran air serta energi selama pengambilan data 7 jam per hari dapat dilihat pada Gambar 4 sampai 11.



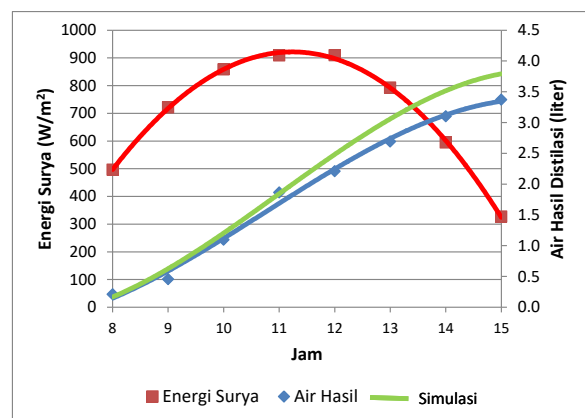
Gambar 4. Variasi tanpa kaca atas



Gambar 5. Variasi kaca atas 3 cm dengan laju alir 1 liter/jam



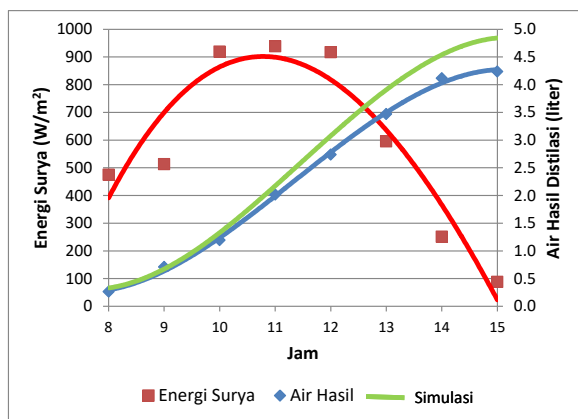
Gambar 6. Variasi kaca atas 3 cm dengan laju alir 2 liter/jam



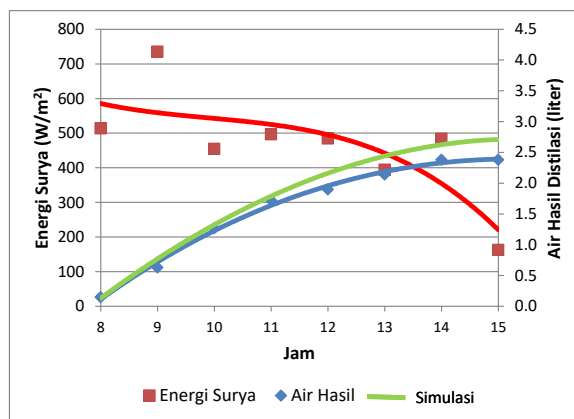
Gambar 7. Variasi kaca atas 3 cm dengan laju alir 4 liter/jam

Gambar 4 menunjukkan hasil variasi tanpa menggunakan air pendingin kaca. Hasil air distilasi secara eksperimen adalah sebesar 3,7 liter dan simulasi sebesar 3,9 liter. Gambar 5 menunjukkan hasil variasi lebar kaca atas 3 cm dengan laju alir 1 liter/jam. Hasil air distilasi secara

eksperimen adalah sebesar 4,1 liter. dan simulasi sebesar 4,3 liter. Gambar 6 menunjukkan hasil variasi lebar kaca atas 3 cm dengan laju alir 2 liter/jam. Hasil air distilasi secara eksperimen adalah sebesar 3,3 liter dan simulasi sebesar 3,7 liter. Gambar 7 menunjukkan hasil variasi lebar kaca atas 3 cm dengan laju alir 4 liter/jam. Hasil air distilasi secara eksperimen adalah sebesar 3,4 liter dan simulasi sebesar 3,8 liter. Gambar 8 menunjukkan hasil variasi lebar kaca atas 6 cm dengan laju alir 1 liter/jam. Hasil air distilasi secara eksperimen adalah sebesar 4,2 liter. dan simulasi sebesar 4,8 liter. Gambar 9 menunjukkan hasil variasi lebar kaca atas 10 cm dengan laju alir 1 liter/jam. Hasil air distilasi secara eksperimen adalah sebesar 2,4 liter. dan simulasi sebesar 2,7 liter.

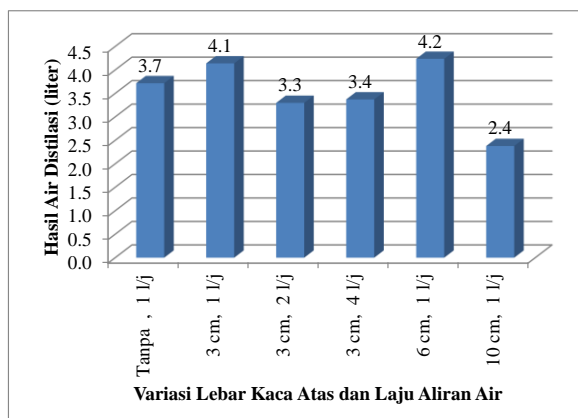


Gambar 8. Variasi kaca atas 6 cm dengan laju alir 1 liter/jam

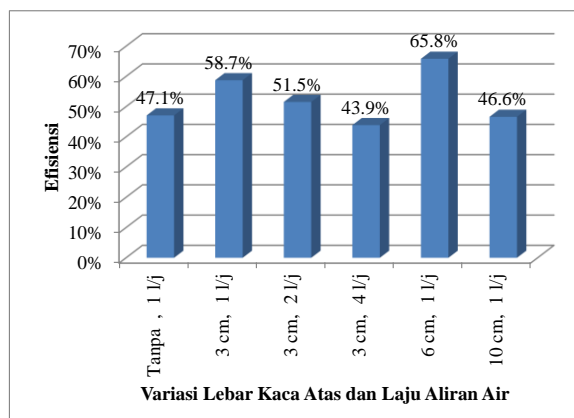


Gambar 9. Variasi kaca atas 10 cm dengan laju alir 1 liter/jam

Pengambilan data tiap variasi dilakukan selama 3 hari sehingga hasil yang dipaparkan pada Gambar 4 sampai 9 masing-masing merupakan hasil rata-rata selama 3 hari. Energi matahari harian yang datang tiap hari berubah-ubah, sehingga perbandingan tiap variasinya tidak dapat didasarkan pada hasil air distilasi (Gambar 10). Karenanya perbandingan tiap variasinya akan didasarkan pada efisiensi harian yang dihasilkan (Gambar 11).



Gambar 10. Hasil air distilasi pada semua variasi



Gambar 11. Efisiensi distilasi pada semua variasi

Efisiensi merupakan perbandingan energi yang diperlukan untuk penguapan sebanyak air hasil distilasi dengan energi matahari yang datang. Dengan kata lain laju air pendingin kaca terbaik didasarkan pada efisiensi terbaik yang dihasilkan. Gambar 11 menunjukkan efisiensi distilasi dengan lebar kaca atas dan laju air 4 liter/jam atau sebesar 43,9% adalah efisiensi yang terendah

dalam penelitian ini. Variasi tanpa kaca atas yang berarti juga tanpa laju aliran air pendingin kaca digunakan sebagai pembanding variasi dengan aliran air pendingin kaca. Variasi tanpa aliran air pendingin kaca merupakan variasi yang telah banyak dilakukan oleh peneliti lain. Pada variasi menggunakan lebar kaca 3 cm terlihat bahwa efisiensi distilasi pada penelitian ini meningkat sejalan dengan mengecilnya laju aliran air pendingin kaca yakni sebesar 43,9% pada laju aliran air pendingin kaca 4 liter/jam, sebesar 51,5% pada laju aliran air pendingin kaca 2 liter/jam dan sebesar 58,7% pada laju aliran air pendingin kaca 1 liter/jam. Meningkatnya efisiensi ini disebabkan temperatur air masuk absorber semakin tinggi dengan mengecilnya laju aliran air pendingin kaca. Hal tersebut menyebabkan air lebih mudah menguap sehingga hasil air distilasi meningkat. Meningkatnya temperatur air yang masuk ke absorber menyebabkan beda temperatur antara absorber dan kaca meningkat. Peningkatan beda temperatur antara absorber dan kaca menyebabkan uap yang terbentuk di permukaan absorber dapat langsung bergerak ke kaca secara konveksi. Hal tersebut membuat tekanan parsial uap di atas absorber turun sehingga air mudah menguap dan tekanan parsial uap di sekitar kaca naik yang menyebabkan uap lebih mudah mengembun.

Pada penelitian ini efisiensi distilasi yang dihasilkan pada variasi lebar kaca atas 3 cm dan laju aliran air pendingin kaca 1 liter/jam bukan merupakan efisiensi tertinggi yang dicapai. Efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi lebar kaca 6 cm dengan laju air pendingin kaca sebesar 1 liter/jam yakni sebesar 65,8%. Selain efisiensi tertinggi, variasi tersebut juga menghasilkan air distilasi terbanyak yakni 4,2 liter. Pada variasi lebar kaca atas 10 cm dengan laju air pendingin 1 liter/jam terlihat efisiensi yang diperoleh lebih rendah dibanding lebar kaca 6 cm dan laju alir air pendingin 1 liter/jam. Dari variasi lebar kaca pendingin (3cm, 6cm dan 10 cm) pada laju alir air pendingin yang sama yakni 1 liter/jam, terlihat adanya nilai lebar kaca yang optimum yakni 6 cm. Hal tersebut disebabkan pada lebar kaca atas 3 cm, energi panas pengembunan yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air pendingin kaca lebih sedikit dibandingkan lebar kaca 6 cm dan 10 cm. Pada lebar kaca atas 10 cm sebenarnya energi panas pengembunan yang dapat dimanfaatkan adalah yang terbanyak, tetapi kerugian panas pada lebar kaca atas 10 cm adalah yang terbesar. Kerugian tersebut berupa terhalangnya energi panas matahari yang akan masuk ke dalam absorber. Terhalangnya energi panas matahari disebabkan nilai transmisivitas dua kaca lebih rendah dibandingkan nilai transmisivitas satu kaca. Pada lebar kaca 6 cm selisih energi panas pengembunan yang diperoleh dengan kerugian panas yang terjadi adalah yang paling besar sehingga efisiensi yang diperoleh juga yang terbesar.

Gambar 4 sampai 9 juga menunjukkan bahwa hasil air distilasi secara simulasi selalu lebih baik dibandingkan hasil air distilasi yang diperoleh secara eksperimen. Hal tersebut disebabkan pada simulasi diasumsikan air pendingin kaca hanya mengambil panas dari kaca dan tidak mengambil panas dari absorber. Pada simulasi juga diasumsikan air tidak menghalangi radiasi energi matahari masuk ke absorber melalui kaca. Dengan kata lain nilai transmisivitas air terhadap radiasi matahari dianggap bernilai satu.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan hasil terbaik diperoleh pada variasi lebar kaca atas 6 cm dengan laju aliran air sebesar 1 liter/jam. Hasil terbaik yang diperoleh pada variasi tersebut adalah air distilasi sebanyak 4,2 liter dengan efisiensi 65,8%

6. SARAN

Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan variasi luas kaca atas dan laju aliran air yang lain. Hal tersebut untuk mengetahui ada tidaknya hasil dan efisiensi optimal di luar variasi luas kaca atas dan laju aliran air yang telah dilakukan

Daftar Pustaka

- [1] N. Hermayanti, "Desalinasi air laut menjawab krisis air bersih daerah pesisir," <http://kompasiana.com/>, p. (diakses pada 8 September 2015), 2013.
- [2] A. Ramadhiani, "Dosen IPB: indonesia sulit air bersih," <http://kompas.com/Properti>, p. (diakses pada 8 September 2015), 2015.
- [3] T. Hermaningsih and S. Yudo, "Alternatif teknologi pengolahan air untuk memenuhi kebutuhan air bersih di daerah pemukiman nelayan," *JAI-BPPT*, vol. 3, no. 1, pp. 38-49, 2007.
- [4] S. Afriyanto and F. B. Suskiyatno, "Metoda "rain water harvesting" untuk kebutuhan air bersih dormitori unika soegijapranata sebagai solusi teknologi yang ekologis," *Prosiding SNST ke-6 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, pp. 18-25, 2015.
- [5] E. Mawardi, "Pengembangan sumber daya air di pulau - pulau kecil terluar perbatasan pulau marore kabupaten kepulauan sangihe sulut," *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) HATHI ke-23, Manado*, pp. 1-9, 2006.
- [6] A. Sukma, B. S. A.N, S. Nurjanah and A. Syakur, "Peningkatan kualitas air pantai menjadi air bersih dengan penerapan teknologi plasma non-thermal dan multi-step filter," *Dipa IPTEKS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2013.
- [7] H. H. Kunze, "A New Approach To Solar Desalination For Small And Medium Size Use In Remote Areas," *Desalination*, vol. 139, p. 35–41, 2001.
- [8] "Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral, Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Dan Konservasi Energi (Energi Hijau)," *Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 2003.
- [9] H. Fath, "Multi-effect solar stills," *Renewable Energy Systems And Desalination*, vol. 3.
- [10] A. K. Singh and G. Tiwari, "Performance study of double effect distillation in a multiwick solar still," *Energy Conversion & Management*, vol. 33, no. 3, pp. 207-214, 1992.
- [11] H.-M. Yeh and Z.-F. Chen, "Experimental studies on wick-type, double-effect solar distillers with air flow through the second-effect unit," *Energy*, vol. 17, no. 3, pp. 269-273, 1992.
- [12] H.-M. Yeh and C.-D. Ho, "Energy and mass balances in multiple-effect upward solar distillers with air flow through the last-effect unit," *Energy*, vol. 25, p. 325–337, 2000.
- [13] G. Tiwari, S. Lawrence and S. Gupta, "Analytical study of multi-effect solar still," *Energy Conversion & Management*, vol. 29, no. 4, pp. 259-263, 1989.
- [14] M. Abu-Arabi, Y. Zurigat, H. Al-Hinai and S. Al-Hiddabi, "Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double-glass cover cooling," *Desalination*, vol. 143, pp. 173-182, 2002.
- [15] B. A. Abu-Hijleh, "Enhanced solar still performance using water film cooling of the glass cover," *Desalination*, vol. 107, pp. 235-244, 1996.
- [16] B. Janarthanan, J. Chandrasekaran and S. Kumar, "Evaporative heat loss and heat transfer for open- and closed-cycle systems of a floating tilted wick solar still," *Desalination*, vol. 180, p.

291–305, 2005.

- [17] K. Sheeba, S. Jaisankar and P. Prakash, "Performance study on an inclined solar water distillation system," *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 61-63, 2012.